

亀裂線追加法 FEM によるせん断切り口性状予測の高精度化

高村正人¹⁾, 松野崇^{1,2)}, 見原俊介¹⁾

¹⁾ 理化学研究所 中性子ビーム技術開発チーム

²⁾ 鳥取大学大学院 工学研究科 機械宇宙工学専攻

1. 緒言

自動車用高張力鋼板のせん断加工では、切り口における疲労強度、遅れ破壊耐性の向上が課題である。これらの特性はせん断切り口における“破断面”の加工硬化や残留応力、凹凸に強く影響を受ける。シミュレーションを使って事前にその性状を予測できればせん断加工の条件を適切に定めることができるが、既存の有限要素法シミュレーション手法に広く使われるような要素剛性低減（あるいは要素削除）による破壊表現では破断面の性状を再現することはできない。

上記の背景のもと、本研究では要素剛性低減に代わる亀裂線追加法を開発し、VCAD の成果の一つである有限要素コード、V-Struct への組み込みを行った。

2. 亀裂線追加法による破壊の表現

2.1 亀裂線追加法のコンセプト

本手法においては、Fig.1 に示すような破壊判定された要素の集合を一つの破壊領域とし、一つの破壊領域ごとに一つの亀裂線を導入する。この場合の各要素の破壊判定は何らかの延性破壊モデルを用いて行う。

1 ステップで追加される亀裂は直線であることを仮定する。破壊領域に所属し、かつ、表面に位置する節点の中で損傷値（所属する要素の値を平均して算出）が最も高いものを亀裂線の始点と定める。亀裂線方向は破壊領域に属する要素全体の応力の平均値より算出する。亀裂線と破壊領域境界の交点を亀裂線の終点とする。

亀裂線の始点は外形線上にあるので、始点に 2 重節点を配せば亀裂表面が新たな外形線として追加されることになる。これらをリメッシュのステップごとに繰り返す事でせん断加工における亀裂発生や伝播を表現する。節点分離法に類似すると思われるかもしれないが、この亀裂線追加法においては亀裂終点を他の節点と独立に定める。既存の節点分離法とは明確に異なる手法である事を強調したい。

なお、今回の解析ではリメッシングプログラムの都合上から表面節点が破壊領域に存在する場合においてのみ亀裂線を発生させた。すなわち、内部破壊は無いものとした。また、始点と方向によっては亀裂線が破壊領域内に存在しない場合も起こりうるが、このような場合においては新たな亀裂線は生成しないと仮定した。

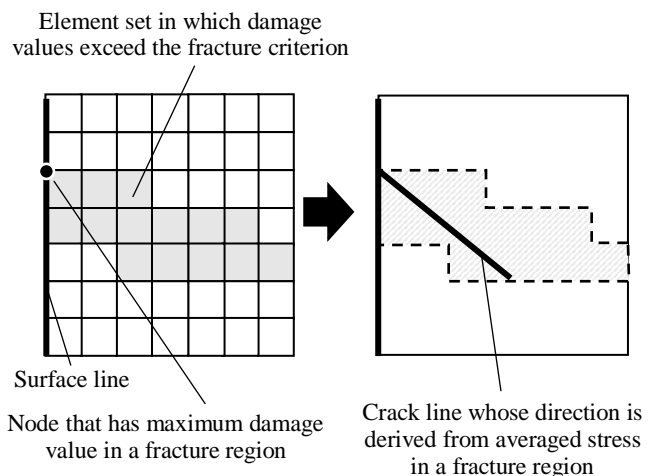


Fig.1 Schematic images for introduction of crack line

2.2 亀裂線方向の決定

亀裂線追加法においては、損傷領域の発展に対して亀裂線方向が重要な要因となる。本研究においては最大主応力に垂直な面と被加工材の局所化方向（分岐境界）の 2 通りを亀裂進展方向のモデルとして検討している。

3. シミュレーション例（進捗）

3.1 工具および境界条件

パンチ直径 10.0 mm の穴抜きを想定した 2 次元軸対称の有限要素法シミュレーションを行った。クリアランスは片側 0.4 mm とし、固定されたホルダーによる板抑えを加えた。被加工材の板厚は 3.2 mm とした。工具と被加工材との摩擦係数は 0.3 とした。Fig.2 にモデルを示す。

材料の機械的特性は 590MPa 級の高張力鋼板を仮定した文献値を用いた。破壊の閾値は延性破壊条件（Cockcroft Latham）を用いた。

3.2 シミュレーション結果と考察

Fig.3 に従来の要素剛性低減法を用いた場合のシミュレーション結果を、Fig.4 と 5 に本報で新たに提案する亀裂線追加法におけるシミュレーション結果を示す。

要素剛性低減法では破壊が発生した時点から板厚を貫通する方向に損傷が進展している (Fig.3)。一方、亀裂線方向を最大主応力に垂直とした Fig.4 の亀裂線追加法の結果では発生した亀裂が進展せずに開口のみが進んでいる。分岐境界を亀裂線方向とした Fig.5 はこれらの中間的な結果となったが亀裂面が食い込み解析が止まってしまった (TP-Mform は自己接触が未実装)。

亀裂線方向の妥当性についてはさらなる考察が必要であるが、亀裂線追加法の組み込みにより要素剛性低減法では不可能な亀裂の停留や亀裂の閉口が表現できた。

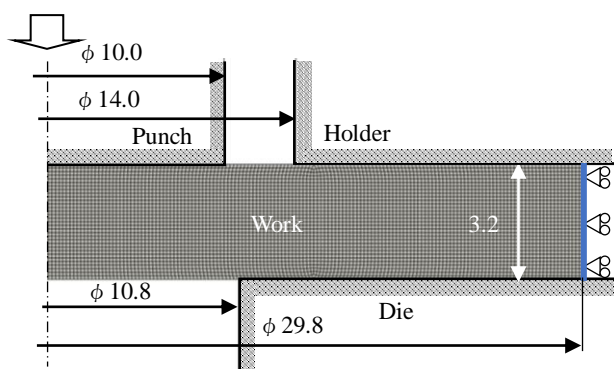


Fig.2 Boundary conditions for FE analysis

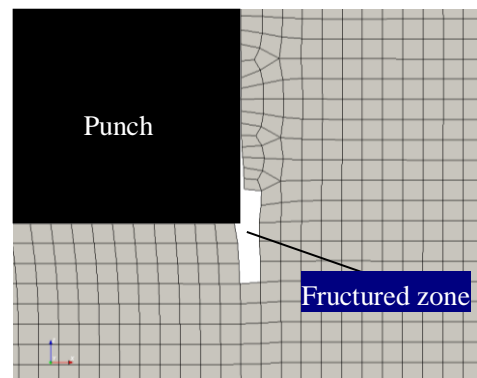


Fig.3 Result with conventional element stiffness reduction

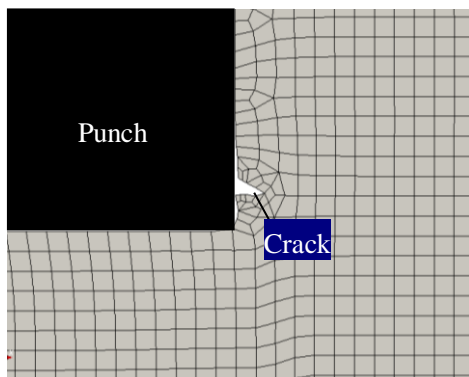


Fig.4 Result with crack line update method using maximum principal stress direction

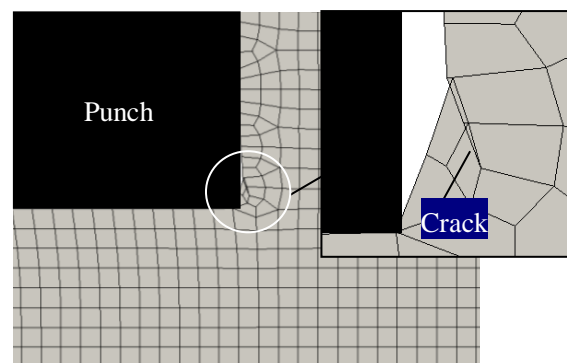


Fig.5 Result with crack line update method using bifurcation direction

4. 結言

有限要素法による 2 次元軸対称のせん断加工シミュレーションを対象に、亀裂線追加法による破断面性状予測手法を検討した。その結果、要素剛性低減法を用いたシミュレーションでは不可能な工具刃先近傍における亀裂の停留や閉口現象を再現することに成功した。

今後は自己接触アルゴリズムの追加や損傷条件の組み込み、実験結果と比較する事による亀裂線方向モデルや延性破壊条件のパラメータ測定を実施していく。